

Одиннадцатая независимая научно-практическая конференция «Разработка ПО 2015»

22 - 24 октября, Москва



Методы прогнозирования процессорной нагрузки

Мелехова А., Кудинова М., Веринов А.

МФТИ (ГУ), Odin

План презентации

- Задачи предсказания процессорной нагрузки.
- Различные методы предсказания:
 - регрессионные,
 - вероятностные,
 - управление обратной связью,
 - кластеризация.
- Возможные критерии выбора подходящего метода.

Области применения

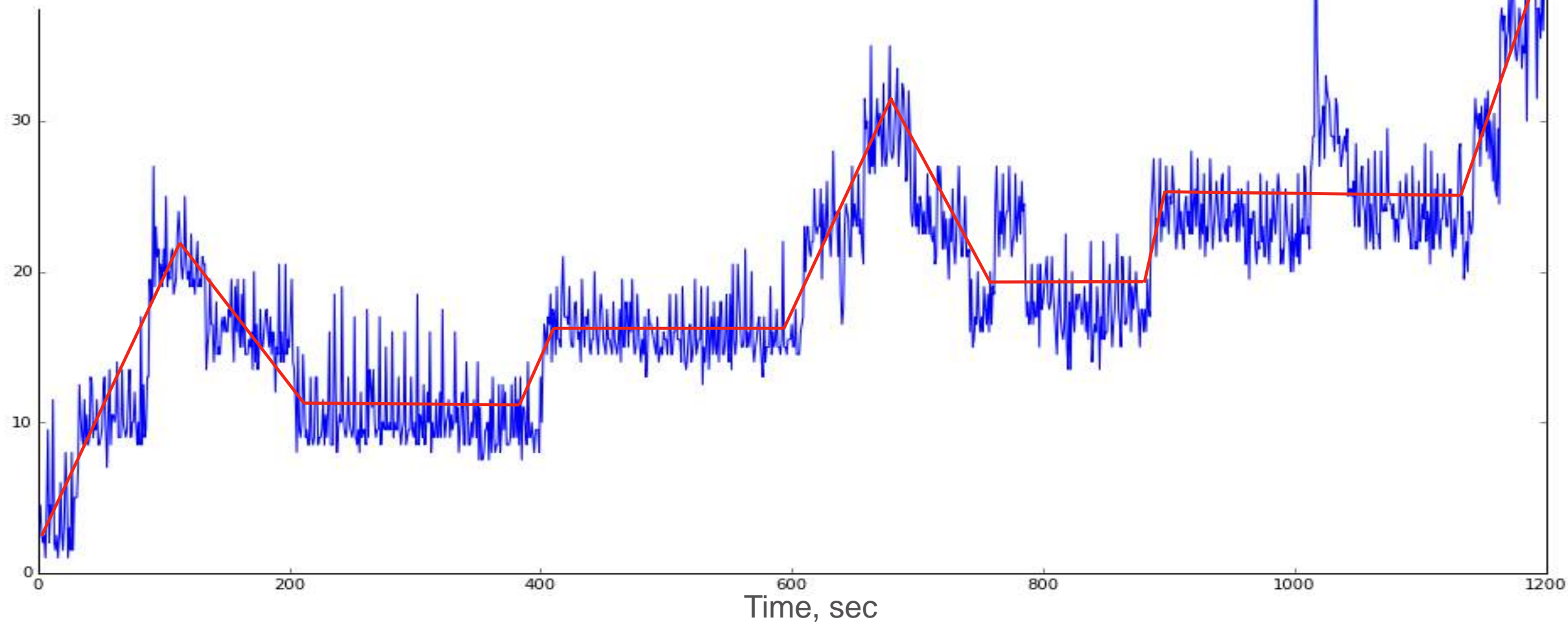
- Оптимальное распределение ресурсов:
 - серверы,
 - GRIDs.
- Миграция виртуальных машин.
- Предсказание энергопотребления.

Свойства нагрузки

- Характеристики временного ряда нагрузки:
 - горизонт стационарности,
 - автокорреляции.
- Наличие априорной информации о шуме.
- Наличие дополнительных параметров, оказывающих влияние на процессорную нагрузку.

Временной ряд нагрузки

CPU usage, %



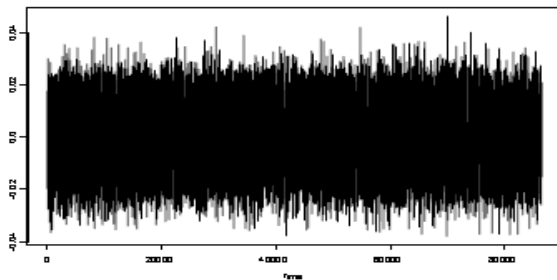
Методы

- Регрессионные (Box–Jenkins).
- Вероятностные (Байесовский классификатор).
- Управление обратной связью (фильтр Калмана).
- Кластеризация (на основе дополнительных архитектурных параметров).

Регрессия

- (AR) Авторегрессия: $z_t = \sum_{i=1}^p \theta_i z_{t-i} + a_t$.
- (MA) Модель скользящего среднего: $z_t = \sum_{j=1}^q \psi_j a_{t-j} + a_t$.
- ARMA, ARIMA: $z_t = \frac{\psi(B)}{\theta(B)(1-B)^d} a_t$, где $Ba_t = a_{t-1}$.

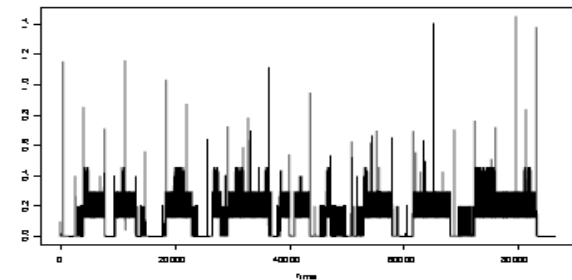
Unpredictable Random Signal \longrightarrow Fixed Linear Filter \longrightarrow Partially Predictable Signal



$a_t \sim \text{White Noise } (0, \sigma_a^2)$

$$z_t = \sum_{j=1}^{\infty} \psi_j a_{t-j} + a_t$$

$$\sigma_a^2 \ll \sigma_z^2$$



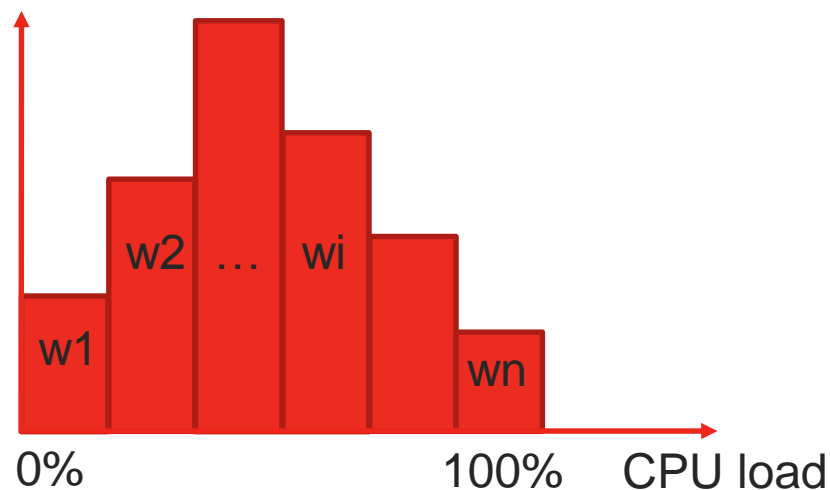
$z_t \sim \mu, \sigma_z^2$

Credit to P. Dinda "Host load prediction using linear models" 2000.

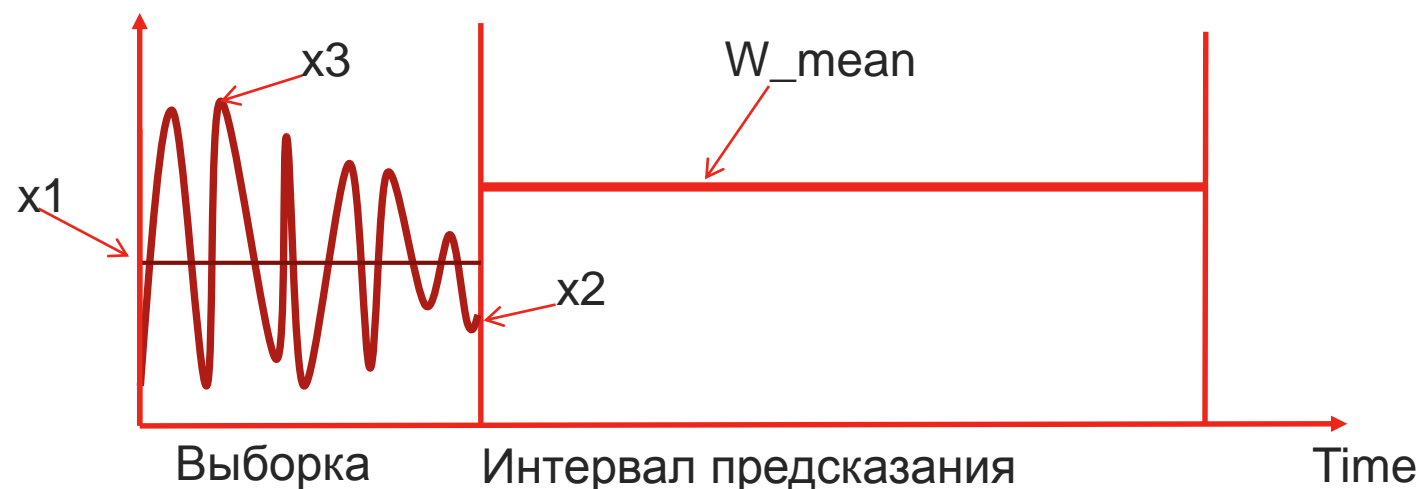
Байесовский классификатор

- 1) Для каждого класса w рассчитывается априорная вероятность.
- 2) На основании выборки вычисляется набор параметров нагрузки.

Prior $P(w)$



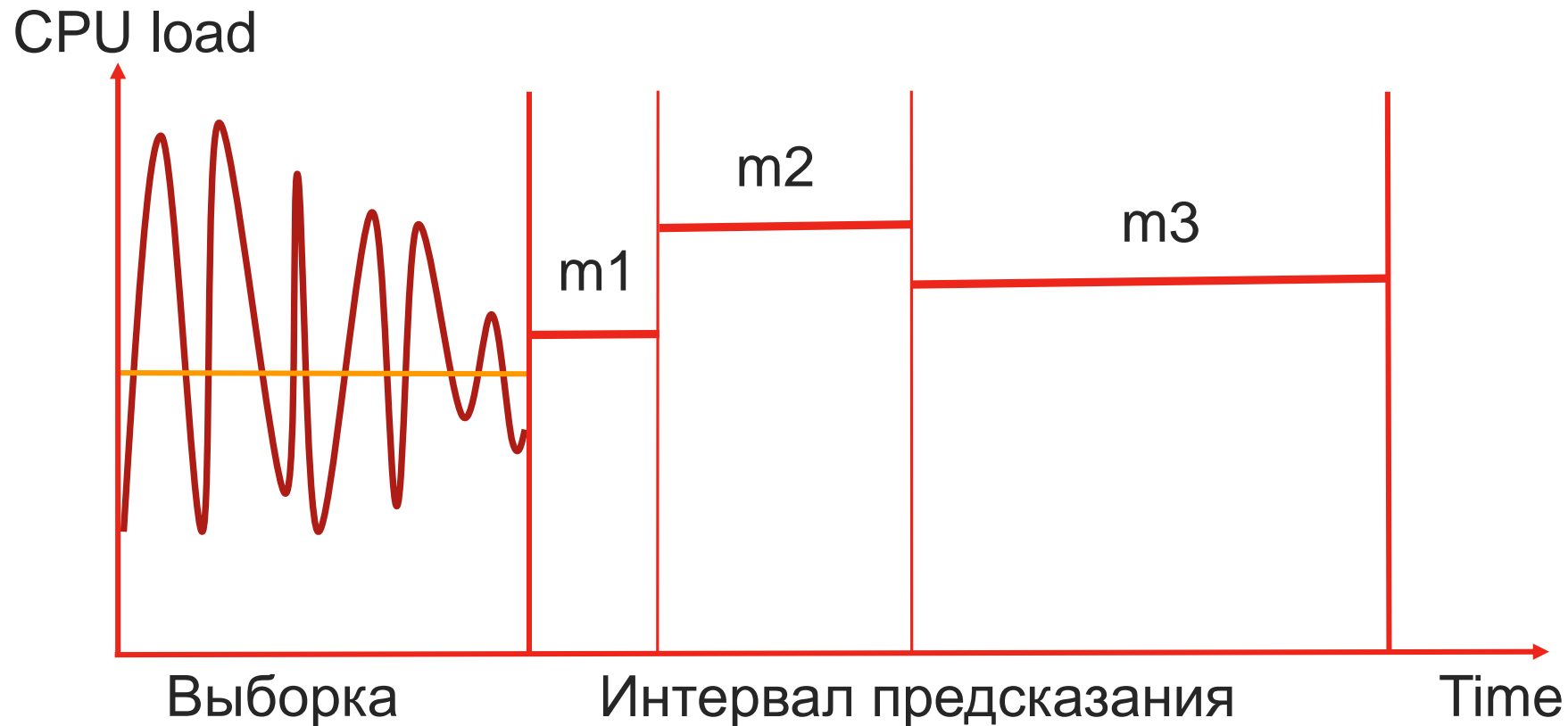
CPU load



- 3) Рассчитываются $P(w|x)$ для каждого w :
$$P(w_i|x_j) = \frac{p(x_j|w_i)P(w_i)}{\sum_{k=1}^m p(x_j|w_k)P(w_k)}$$
- 4) Принимается решение о классификации.

Предсказание паттернами

- Предсказание средних значений нагрузки на нескольких последовательных интервалах времени.



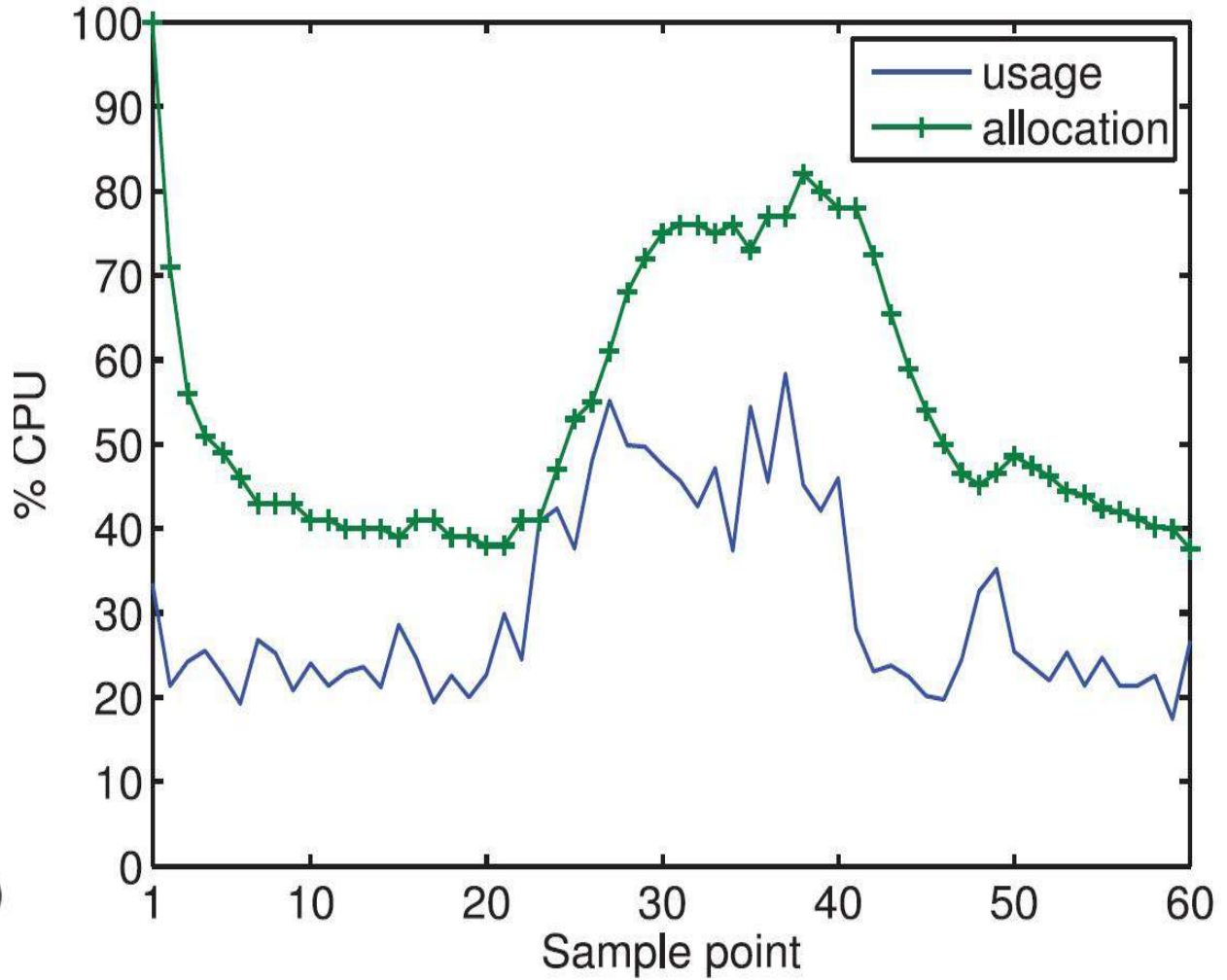
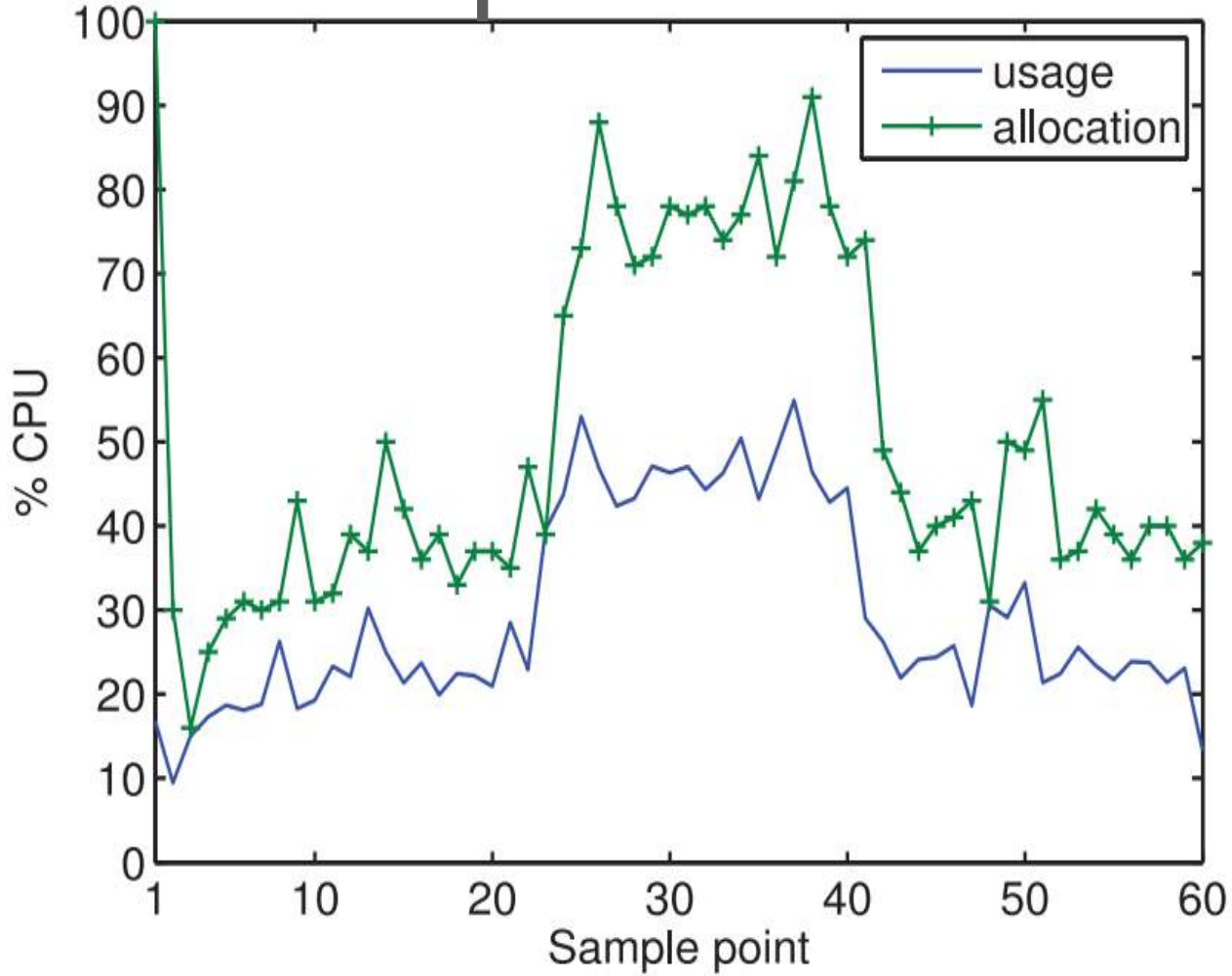
Управление обратной связью

- Предсказание на 1 шаг вперед.
- Динамическая проверка точности предсказания во время исполнения.
- Уточнение предсказанных значений на следующий интервал с учетом ошибки в предыдущем интервале.

Фильтр Калмана

- Модель системы: $u_{k+1} = u_k + t_k$, t_k – нормально распределенный шум.
- $\tilde{u}_{k+1} = \hat{u}_k$ – априорная оценка нагрузки.
- $\hat{u}_k = \tilde{u}_k + K \cdot err_k$ – апостериорная оценка.
- *Калмановский коэффициент усиления* (Kalman gain, K) – важность измерений по отношению к априорной оценке.

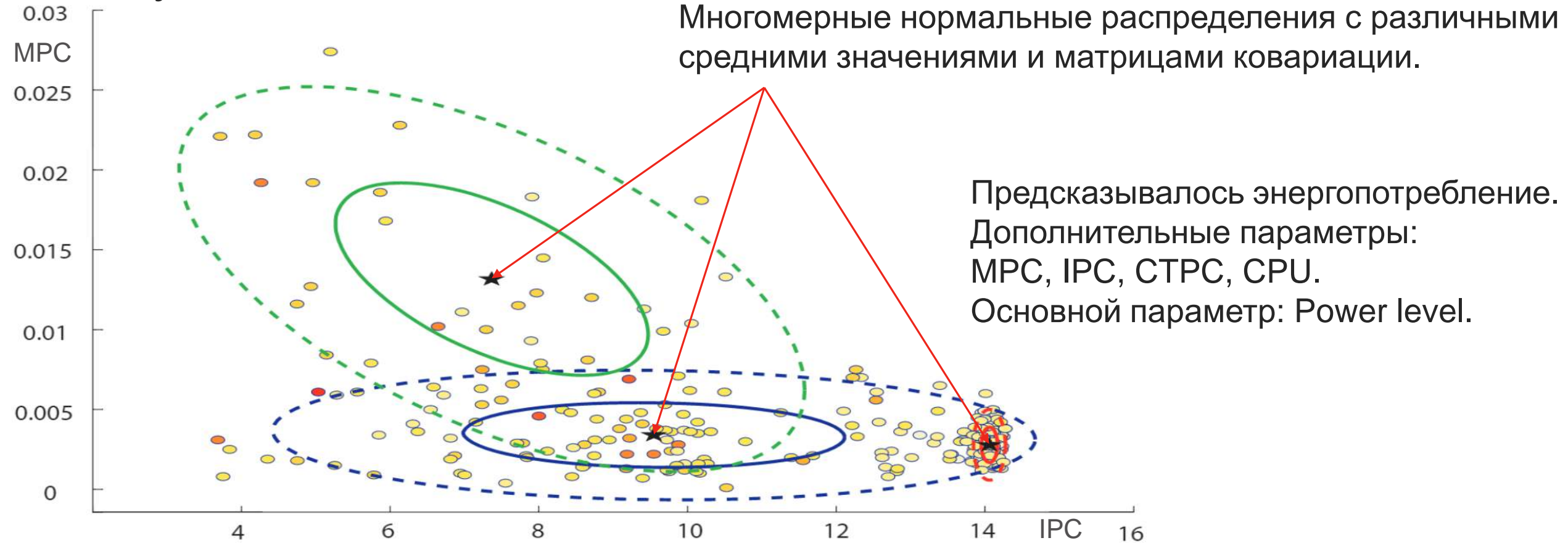
Фильтр Калмана



Credit to E. Kalyvianaki et al. "Adaptive Resource Provisioning for Virtualized Servers" 2014.

Кластеризация

- Гауссовы смеси



Credit to G. Dhiman "A system for online power prediction in virtualized environments using Gaussian Mixture Models" 2010.

Выбор подходящей модели

- Важно знать:
 - требуемый горизонт прогнозирования,
 - связь между нагрузкой на процессор и другими параметрами системы,
 - априорную информацию о поведении системы.
- Изучить характеристики нагрузки:
 - горизонт стационарности,
 - значения автокорреляционной функции.

Предлагаемый подход

- Определение характеристик нагрузки.
- Выбор нескольких подходящих моделей.
- Сравнение результатов отобранных моделей.

Буду рада ответить на Ваши вопросы.

- С рассмотренными методами можно более подробно ознакомиться в следующих статьях:
 - AR, ARIMA – *Dinda, P.A. и O'Hallaron, D.R.* Host load prediction using linear models. 2000.
 - Байесовский классификатор – *Di, S. и др.* Host load prediction in a Google compute cloud with a Bayesian model. 2012.
 - Фильтр Калмана – *Kalyvianaki, E. и др.* Adaptive Resource Provisioning for Virtualized Servers. 2014. и *Kalman, R.E.* A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. 1960.
 - Кластеризация методом Гауссовских смесей – *Dhiman, G.* A system for online power prediction in virtualized environments using Gaussian Mixture Models. 2010.